

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple- Un but- Une Foi



INSTITUT POLYTECHNIQUE
RURAL DE FORMATION ET
DE RECHERCHE APPLIQUEE
(IPR/IFRA) DE KATIBOUGOU
KOULIKORO/MALI

Tel: (223) 21 26 20 12; FAX : (223) 21 26 25 04

Site: www.ipr-ifra.edu.ml, E-mail: ipr-ifra@ipr-ifra.edu.ml



Tel: +22320709200 ; Fax : +22320709201

Site: www.icrisat.org; Email: icrisat@cgiar.org

Evaluation de l'effet de la fertilisation sur les caractères agronomiques des variétés de sorgho à double usage dans le cercle de Bougouni/Mali

Mémoire de stage de Fin de Cycle

Présenté par **Badjiri Kaba DIAKITE** pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de
l'IPR/IFRA de Katibougou,

Spécialité : Agronomie

Directeur de Mémoire :

Dr Baloua NEBIE Sélectionneur Sorgho
ICRISAT/Mali

Co-directeur :

Dr Amadou Apho BAH Maître assistant
IPR/IFRA Katibougou

Décembre 2017

Table des matières

Table des matières	i
Dédicace	i
Remerciements	ii
Sigles et abréviations.....	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Liste des annexes.....	vi
Résumé	vii
1 INTRODUCTION	1
2 MILIEU D'ETUDE ET STRUCTURE D'ACCUEIL	3
2.1 Milieu d'étude	3
2.1.1 Situation géographique.....	3
2.1.2 Climat.....	3
2.1.3 Sols.....	3
2.2 Structure d'accueil.....	3
2.2.1 Présentation de l'ICRISAT Bamako /MALI.....	3
2.2.2 Programme sorgho	4
3 ETAT DES CONNAISSANCES.....	5
3.1 Généralités sur le sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>) (L.) Moench).....	5
3.1.1 Origine et diffusion	5
3.1.2 Classification botanique	5
3.1.3 Morphologie	9
3.1.3.1 Racine	10
3.1.3.2 Tige	10
3.1.3.3 Feuilles.....	10
3.1.3.4 Inflorescence	10
3.1.3.5 Grains	11
3.1.4 Stades de développement du sorgho	11
3.1.5 Photopériodisme.....	13
3.1.6 Ecologie.....	13
3.1.7 Fertilisation d'une culture de sorgho	13
3.1.8 Importance nutritionnelle	14
3.1.9 Contraintes liées à la production du sorgho	14
3.1.9.1 Contraintes abiotiques.....	15
3.1.9.2 Contraintes biotiques	15
3.1.9.3 Contraintes socio-économiques	15

3.2	Sorgho à double usage.....	16
3.2.1	Caractéristiques	16
3.2.2	Importances	16
3.3	Généralité sur la fertilisation	16
3.3.1	Définition et importance de la fertilisation	16
3.3.2	Fertilisation minérale :	16
3.3.3	Fertilisation organique :	17
4	ETUDE PRATIQUE.....	17
4.1	Objectifs	17
4.1.1	Objectif général	17
4.1.2	Objectifs spécifiques	17
4.2	Matériel et méthodes	18
4.2.1	Matériel	18
4.2.1.1	Matériel végétal.....	18
4.2.1.2	19
4.2.1.2	Matériel technique	20
4.2.1.3	Site	20
4.2.2	Méthodes	21
4.2.2.1	Dispositif expérimental	21
4.3	Préparation des semences.....	23
4.3.1.1	Préparation du sol	23
4.3.1.2	Semis.....	23
4.3.1.3	Entretien	23
4.3.1.4	Observations	24
4.3.1.5	Analyse des données	25
4.4	Résultats et discussion.....	26
4.4.1	Variétés qui combinent grain et fourrage et bien adaptées à la zone de Bougouni 26	
4.4.2	Rendement grain	26
4.4.2.1	Rendement fourrage	26
4.4.3	Comparaison des variétés améliorées à la variété locale sur la base du cycle semis-épiaison.....	27
4.4.4	Comparaison des variétés améliorées à la variété locale sur la base de la hauteur des plants.....	28
4.4.5	Effet de différents types de fertilisation sur la croissance et la productivité en grain et en fourrage des variétés à double usage.....	29
4.4.6	Effet du type de fertilisant sur le cycle semis-épiaison	29
4.4.7	Effet des types de fertilisants sur la hauteur des plants	31
4.4.8	Effet des types de fertilisants sur le rendement grain.....	32
4.4.9	Effet des types de fertilisants sur le rendement fourrage	33
5	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	35

6	REFERENCES	36
	ANNEXES	viii

Dédicace

Je dédie ce travail à ma mère Fanta DIAKITE pour son affection et ses bénédictions.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout Miséricordieux de m'avoir protégé, et comblé de sa grâce infinie.

Je remercie également :

- La Direction de l'IPR/IFRA de Katibougou et le corps professoral, pour la qualité de formation ;
- Dr Aboubacar TOURE, chef du programme sorgho et tout le staff ICRISAT à Bougouni pour m'avoir accepté dans leur équipe dans le cadre de ce stage.
- Mon Directeur de stage, Dr Baloua NEBIE, pour m'avoir accepté en tant que stagiaire, guidé et soutenu pendant ce stage au sein du Programme Sorgho ;
- Mon Co-directeur, Dr Amadou Apho BAH Maître assistant à l'IPR/IFRA de Katibougou qui est mon co-directeur pour son aimable considération et sa disponibilité ;
- Tout le personnel du Programme Sorgho et l'ICRISAT MALI pour leurs appuis tout au long de ce stage ;
- Mr Mamourou SIDIBE, pour ses conseils pendant la mise en place de l'essai et le suivi ;
- Mr Abdoulaye Sangaré pour son aide ;

Je ne saurai terminer sans remercier :

- Toute la famille GOITA et Mr DICKO à Bougouni pour avoir facilité mon séjour ;
- Mes collègues stagiaires pour leurs bonnes collaborations ;
- A tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la confection de ce document.
- Les responsables des projets « Africa Rising » et « McKnight-Dual purpose sorghum and cowpea » ainsi que tout le staff ICRISAT à Bougouni pour l'appui financier et technique dont j'ai bénéficié lors de mon stage
- Tous mes parents pour leurs bénédictions.
- Mes frères, sœurs et amis pour leurs soutiens et conseils.

Sigles et abréviations

AFZ :	Association Française de Zootechnie
CAP:	Centre Agricole Polyvalent
CGIAR :	Consultative Group on International Agricultural Research
GCRAI :	Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale).
DAP:	Phosphate diammoniaque.
FAO :	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).
FAOSTAT :	Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistic (Statistique Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
IER:	Institut d'Economie Rurale.
ICRISAT:	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (L'institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides)
IPR/IFRA :	Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée.
INRA :	Institut National de la Recherche Agronomique.
ONG :	Organisation Non Gouvernementale.
ONU :	Organisation des Nations Unies
PIB :	Produit Intérieur Brut.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différentes races de sorgho	6
Tableau 2 : Calendrier de réalisation des opérations culturales	24
Tableau 3 : Performance des variétés améliorées à double usage comparées à la variété locale sur la base du rendement grain	26
Tableau 4 : Performance des variétés améliorées à double usage comparées à la variété locale sur la base du rendement fourrage.....	27
Tableau 5 : Analyse de variance du cycle des variétés	30
Tableau 6 : Analyse de variance de la hauteur des variétés	32
Tableau 7 : Analyse de variance du rendement grain des variétés.....	32
Tableau 8 : Analyse de variance de la biomasse des variétés	34

Liste des figures

Figure 1 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Bicolor	6
Figure 2 : Graines nues, couvertes et Panicule de sorgho de type Guinea.....	7
Figure 3 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Kafir.....	8
Figure 4 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Caudatum	8
Figure 5 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Durra.....	9
Figure 6 : Schéma d'un plan de sorgho à une seule tige principale (Clerget, 2004)	9
Figure 7 : Description de la graine de sorgho	11
Figure 8 : Schéma de développement du sorgho (Jacques Chantereau,2014)	12
Figure 9 : Variété Tiandougou coura	18
Figure 10 : Variété Soubatimi	19
Figure 11 : Variété Péké.....	19
Figure 12 : Pluviométrie mensuelle enregistrée au cours de l'essai en 2017.....	21
Figure 13 : Plan de masse de l'essai	22
Figure 14 : Cycle semis-épiaison des variétés à double usage par rapport à la variété locale .	28
Figure 15 : Hauteur des variétés à double usage par rapport à la variété locale	29
Figure 16 : Cycle semis-épiaison des plants des variétés à double usage sous différents fertilisants	30

Liste des annexes

Annexe 1: Comparaison des variétés sur la base de 50% épiaison	viii
Annexe 2 : Tableau de comparaison sur la base de la hauteur des plants	viii
Annexe 3 : Tableau de comparaison des variétés sur la base du rendement grain en g/m ²	viii
Annexe 4 : Tableau de comparaison des variétés sur la base du rendement biomasse en t/ha	viii
Annexe 5 : Photo de la récolte.....	ix
Annexe 6 : Photo du battage	ix

Résumé

La présente étude sur «*l'évaluation de l'effet de la fertilisation sur les caractères agronomiques des variétés de sorgho à double usage*» a été réalisée dans le cercle de Bougouni. De façon spécifique, il s'agissait d'identifier les meilleures variétés qui combinent les grains et le fourrage et qui s'adaptent bien aux conditions agro climatiques de la zone de Bougouni, et évaluer l'effet de différents types de fertilisations (DAP+Urée, la fumure organique et la pratique sans apport d'engrais) sur la productivité de ces nouvelles variétés (Péké, Soubatimi et Tiandougou coura) comparées à la variété témoin locale. L'essai a été implanté dans le parc technologique de l'ICRISAT à Madina/Bougouni suivant un dispositif en Split-plot à 2 répétitions. Chacune de ces répétitions est divisée en 12 sous-blocs où l'ensemble des variétés ont été semées. Les observations ont porté sur le cycle semis-épiaison, la hauteur des plantes, le rendement grain et le rendement fourrage. L'analyse de variance a montré une différence significative entre les variétés au niveau du rendement grain avec une probabilité $p= 0,002$. Les variétés à double usages Soubatimi et Tiandougou coura se sont bien adaptées à la zone d'étude avec un cycle semis-épiaison précoce et un rendement grain et fourrage élevé, soit en moyenne 4,3t /ha et 34,40 t/ha (pour Soubatimi) et 3,2 t/ha et 31,56 t/ha (pour Tiandougou coura) respectivement. L'effet de la fertilisation a été surtout significatif pour le rendement grain avec une bonne productivité obtenue lorsque le DAP+Urée est utilisé.

1 INTRODUCTION

La population mondiale va continuer de croître et devrait dépasser les 9,6 milliards de personnes en 2050 (ONU, 2013).

Le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) est une des principales céréales cultivées dans le monde. Il occupe la cinquième position après le blé, le riz, le maïs et l'orge. C'est une culture qui tolère la sécheresse et est adaptée aux températures élevées, aux sols peu fertiles, à différents types de sol (WELTZIEN., 2014). Le sorgho de type *guinea* est le plus cultivé en Afrique de l'Ouest et en particulier au Mali, c'est l'un des types le plus apprécié par les paysans à cause de sa qualité culinaire et son bon niveau de tolérance aux principaux insectes et maladies. En 2014 sa production mondiale était de 67 870 661 tonnes sur une superficie de 44 204 969 ha avec un rendement moyen de 1,5 t/ha, celle du Mali était de 1 271 880 tonnes avec un rendement moyen de 1,05 t/ha (FAOSTAT, 2015).

L'élevage tout comme l'agriculture est un domaine important de l'économie malienne. La production animale représente 10% du PIB (MDR, 2015) alors que la principale contrainte à cette production est la disponibilité et qualité de ces aliments. Les résidus de récolte des céréales et des légumineuses sont de plus en plus utilisés pour nourrir le bétail surtout en période sèche où les aliments bétails se font rares ou extrêmement chers. Malheureusement les variétés traditionnelles de sorgho et certaines variétés améliorées sont de grande taille et les tiges très lignifiées limitant leur digestibilité.

Pour pallier ce problème, l'ICRISAT-MALI en collaboration avec l'IER et autres partenaires a développé des variétés combinant un rendement grain et fourrage important couplé avec une bonne qualité des tiges et feuilles. Un certain nombre de variétés a été enregistré au catalogue régional de semences et les semences sont en cours de production au niveau de l'institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT).

Parmi les facteurs qui limitent la production du sorgho au Mali, figurent la fertilisation.

En effet, bien qu'il existe une formule de fumure vulgarisée, cette dernière n'est pas respectée par les paysans.

Notre étude a été initiée pour évaluer la productivité en grain et en fourrage de quelques-unes de ces nouvelles variétés de sorgho en fonction de trois types de fertilisation à savoir (DAP+Urée, la fumure organique et sans fertilisation) dans la zone de Bougouni afin d'identifier les variétés adaptées à cette zone et également le type de fertilisation qui convient le mieux.

Le présent mémoire comprend :

- Une introduction ;
- Une partie théorique composée du milieu d'étude et de la structure d'accueil, de l'état des connaissances sur le matériel d'étude ;
- Une étude pratique constituée de l'objectif de l'étude, matériel et méthodes, conduite de l'essai, résultats et discussions ;
- Une conclusion et recommandations.

2 MILIEU D'ETUDE ET STRUCTURE D'ACCUEIL

2.1 Milieu d'étude

2.1.1 Situation géographique

Le cercle de Bougouni a pour coordonnées géographiques : 11° 24 latitude nord et 7°29 longitude ouest. Son relief est assez accidenté et son altitude varie entre 320 et 384 m. Les températures maximales et minimales sont respectivement 34°C et 21°C avec une moyenne annuelle de 27°C.

2.1.2 Climat

Le climat est de type soudano-guinéen et connaît l'alternance de 2 saisons : La saison pluvieuse allant de mai à octobre avec une pluviométrie variant entre 800 et 1 110 mm par an et la saison sèche qui va de novembre à avril.

Les vents dominants sont :

- Le harmattan ; vent chaud et sec qui souffle pendant la saison sèche vers Nord-est au Sud-ouest,
- La mousson soufflant du Sud-ouest au Nord-est pendant la saison pluvieuse

2.1.3 Sols

Les types de sols rencontrés sont :

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés à faciès rouge avec une texture limono-sableuse en surface,
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés à tache et concrétion (masse formée par précipitation autour d'un fragment de matériau) ayant une texture limono argileuse en profondeur.

2.2 Structure d'accueil

2.2.1 Présentation de l'ICRISAT Bamako /MALI

L'institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) est une organisation internationale, à but non lucratif et apolitique, fondée en 1972 par un consortium d'organisations. Il est l'un des 15 Centres du Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale (CGIAR).

Sa mission est d'aider à travers la recherche et sur la base de partenariats, les paysans à augmenter la productivité agricole, assurer la sécurité alimentaire et réduire la pauvreté en protégeant l'environnement.

L'ICRISAT intervient dans les zones arides et semi-arides d'Asie et d'Afrique subsaharienne. Il axe exclusivement sa recherche sur le sorgho, le mil, le pois chiche, le poids d'Angole et l'arachide qui constituent la base de l'alimentation des populations des zones cibles.

L'ICRISAT a son siège à Patancheru (Inde) où réside le directeur général et dispose de deux centres régionaux en Afrique : le centre de Bamako, Mali pour Afrique de l'Ouest et du centre et le centre de Nairobi au Kenya pour l'Afrique de l'Est et du Sud. Chacun de ces centres possède un directeur régional et des bureaux existent également dans certains pays.

La station de l'ICRISAT Mali, située à Samanko mène des recherches sur le sorgho et l'arachide, principales cultures en zone soudanienne.

2.2.2 Programme sorgho

Les activités du programme sorgho s'articulent autour de trois axes :

- **Développement de matériels génétiques de base pour l'utilisation dans la sélection** : ces matériels sont les populations diverses, les lignées ayant des combinaisons de nouveaux caractères et les parents hybrides ;
- **Développement de méthodes efficaces pour la recherche et le développement** : les activités de cet axe sont orientées vers la sélection des hybrides ; identification des variétés riches en micronutriments (Fe/Zn) pour l'alimentation humaine ; identification des variétés ayant une bonne qualité fourragère pour l'alimentation des animaux ; adaptation des variétés aux conditions de faible fertilité en phosphore ; augmentation et stabilisation du rendement par les tests multi-environnementaux et intégration des producteurs et des utilisateurs dans la recherche en vue de l'évaluation participative des variétés ; lutte intégrée contre le *Striga* et l'utilisation de nouvelles techniques de biotechnologie pour la sélection ;
- **Formation** : le programme assure l'encadrement des étudiants (Techniciens, Ingénieurs, Masters, Docteurs) ; la formation des Organisations Paysannes et ONG pour les bonnes pratiques agricoles, pour la production de semences et l'évaluation des nouvelles variétés mises au point, ainsi que les stratégies de dissémination des semences produites.

3 ETAT DES CONNAISSANCES

3.1 Généralités sur le sorgho (*Sorghum bicolor*) (L.) Moench)

3.1.1 Origine et diffusion

De nombreuses données archéologiques et botaniques désignent la zone soudano-sahélienne au sud-est du Sahara comme l'aire vraisemblable de la domestication du sorgho. Dans cette vaste région, la moyenne vallée du Nil en Nubie et au Soudan se distingue. Il s'y trouve les sites néolithiques d'occupation humaine ayant livré les plus anciens restes archéologiques de sorgho (SMITH et FREDERIKSEN, 2000). Leurs datations s'échelonnent entre 6000 à 4000 ans avant J.C. Ces restes ont été reconnus comme ceux de sorghos sauvages signalant plus un produit de cueillette qu'un produit de récolte agricole.

Les premiers restes archéologiques identifiés de sorghos en Afrique ont été trouvés en Nubie et datent du premier millénaire avant J.C. Ils ont été reconnus de race bicolor en adéquation avec l'antériorité supposée de cette race aux caractères les plus primitifs. En fait, leur domestication pourrait dater du troisième millénaire avant J.C. Ces sorghos bicolor auraient ensuite diffusé en direction de l'Afrique de l'Ouest et du Sud, faisant de ces régions des centres secondaires de domestication pour les sorghos guinea et kafir. Dans la zone d'origine du sorgho, la poursuite du travail de domestication aurait abouti aux races caudatum et durra.

3.1.2 Classification botanique

Le sorgho cultivé appartient à la famille des *Poaceae* et à la tribu des *Andropogoneae*. Les sorghos, cultivés pour le grain sont classés dans la sous espèce bicolor de l'espèce *Sorghum bicolor* (*Sorghum bicolor subsp. bicolor*) qui est diploïde ($n = 10$).

Outre cette sous-espèce, on reconnaît, dans l'espèce *Sorghum bicolor*, deux autres sous espèces qui peuvent donner des sorghos fourragers : *Sorghum bicolor subsp. arundinaceum*, forme diploïde sauvage du sorgho cultivé avec lequel il se croise facilement et *Sorghum bicolor subsp. drumondii*, forme intermédiaire issue de l'hybridation naturelle entre les deux autres sous espèces. Il existe aussi deux autres espèces de sorghos tétraploïdes utilisées pour donner des sorghos fourragers : *Sorghum halepense* et *Sorghum almun* (TRAORE, 2016).

Le sorgho cultivé présente une très grande diversité de formes décrites par différentes classifications botaniques. La classification la plus récente et la plus utilisée est celle de HARLAN et DE WET (1972). Elle est fondée sur des caractéristiques des épillets (glume et grain) et de la forme des panicules.

Tableau 1 : Les Différentes races de sorgho

Races fondamentales	Races intermédiaires
Bicolor (B)	Guinea-bicolor (GB)
Guinea (G)	Caudatum-bicolor (CB)
Caudatum (G)	Kafir-bicolor (KB)
Kafir (K)	Guinea-caudatum (GC)
Durra (D)	Guinea-kafir (GK)
	Guinea-durra (GD)
	Kafir-caudatum (KC)
	Durra-caudatum (KC)
	Kafir-durra (KD)

Source : HARLAN et DE WET ,1972.

- **Bicolor**

Les bicolor sont des sorghos aux caractères les plus primitifs se rencontrant en Afrique et en Asie. Ils présentent des panicules longues érigées (25 à 30 cm), de petits grains allongés entièrement enveloppés par des glumes couvrantes et adhérentes (Figure 1). On y trouve des sorghos à balai et des sorghos fourragers.

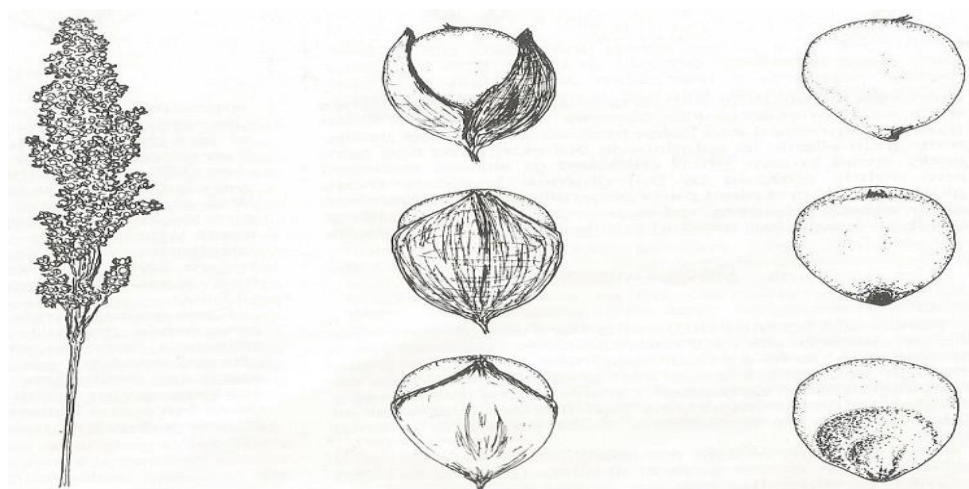


Figure 1 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Bicolor (MANN et *al*, 1983)

- **Guinea**

C'est le sorgho typique de l'Afrique de l'Ouest mais également cultivé en Afrique Australe. Les Guinea sont de grandes tailles (4 à 5 m) et photopériodiques avec une panicule lâche (Figure 2). Leur grain elliptique est pris dans des glumes ouvertes. Ils sont adaptés aux zones de culture de sorgho les plus pluvieuses. On y distingue plusieurs types :

- Margaritifera (*kendé*) caractérisé par de petits grains vitreux,
- Gambicum (*kéninké*) à gros grains assez vitreux,
- Guineense (*kéninké*) à gros grains peu vitreux.

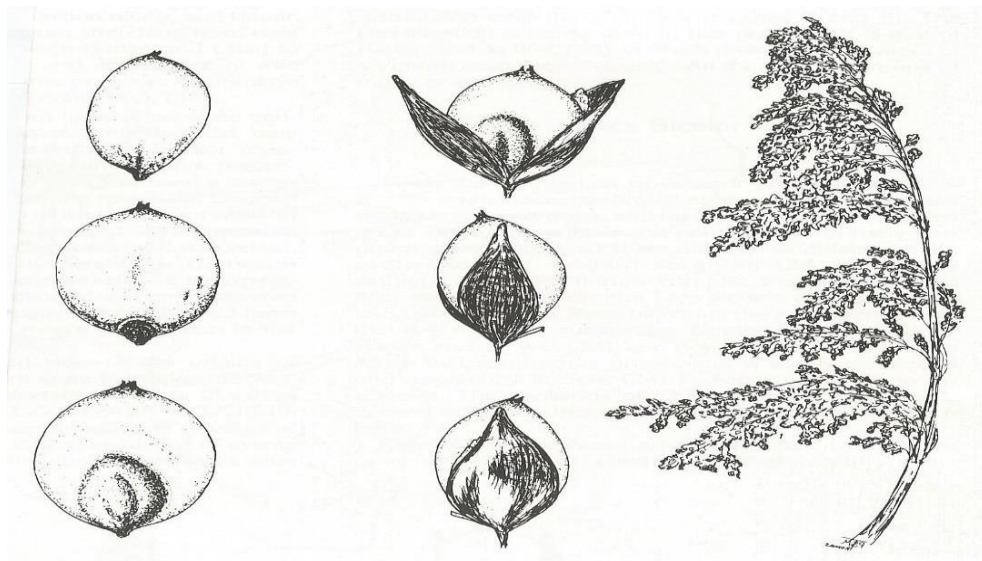


Figure 2 : Graines nues, couvertes et Panicule de sorgho de type Guinea (MANN et al, 1983)

- **Kafir**

Les Kafir sont répandus en Afrique du Sud (CHANTEREAU et NICOU, 1991). Ces sorghos sont peu diversifiés, de taille généralement courte peu ou non photopériodique. La panicule est compacte et cylindrique. Les glumes sont de longueur variable, le grain à tendance symétrique est plus ou moins sphérique. Les Kafir sont intéressants pour leur précocité (Figure 3).

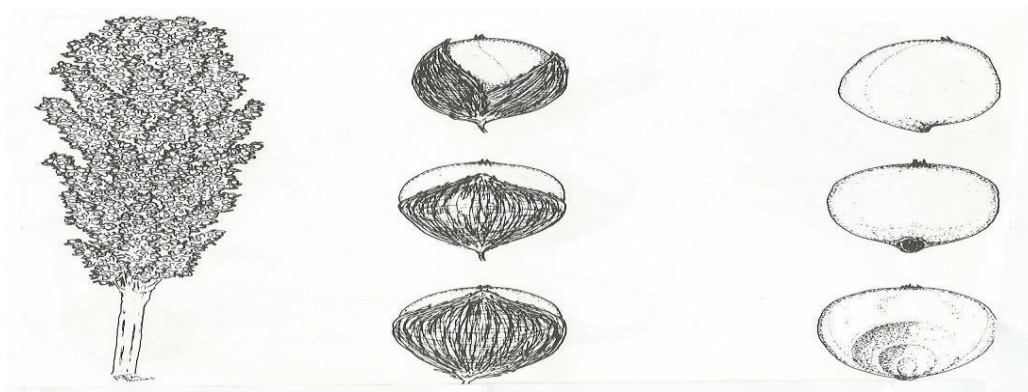


Figure 3 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Kafir (MANN et *al*, 1983)

- **Caudatum**

La race Caudatum est cultivée en Afrique du centre et de l'Est (CHANTEREAU et NICOU, 1991). La forme des panicules est variable mais généralement compacte (Figure 4). Les grains nombreux sont dissymétriques aplatis sur la face ventrale et bombés sur la face dorsale. La longueur des glumes est la moitié du grain qui est souvent farineux mais de qualité médiocre.

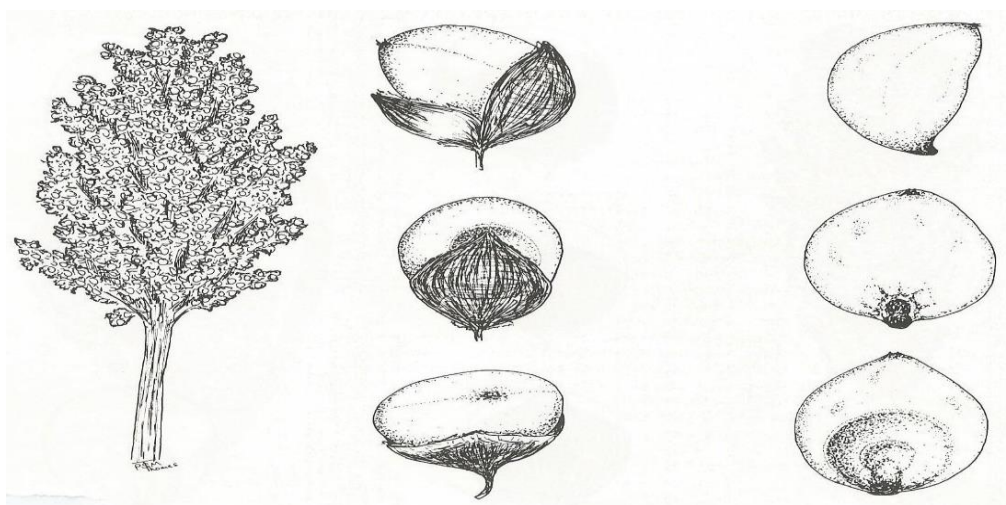


Figure 4 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Caudatum (MANN et *al*, 1983)

- **Durra**

La race Durra se rencontre essentiellement en Afrique de l'Est, au Moyen-Orient et en Inde (CHANTEREAU et *al*.1991). Les sorghos de cette race ont une panicule plus ou moins compacte souvent portée par un pédoncule crossé (Figure 5). Les grains sont globuleux et arrondis à la base.

Les glumes sont très larges, à texture variante de la base vers le sommet et ne recouvrent pas les grains. Cette variété se caractérise par la grosseur de ses grains farineux, parfois vitreux avec une taille d'environ 2 mètres.

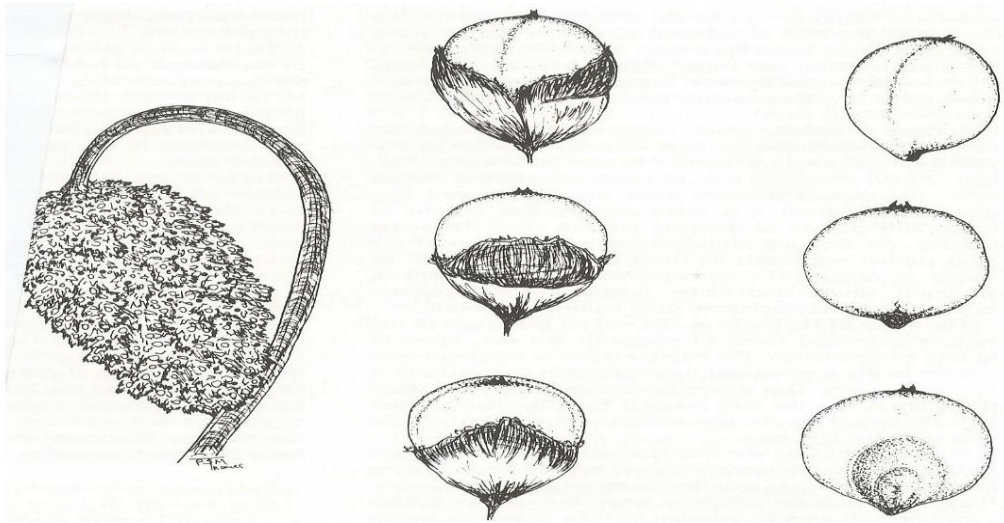


Figure 5 : Panicule, graines couvertes et nues de sorgho de type Durra (MANN et al, 1983)

- **Dix races intermédiaires**

Ils présentent des combinaisons et des caractères empruntés à plusieurs races principales.

3.1.3 Morphologie

La morphologie générale d'un plant de sorgho cultivé arrivé à maturité est illustrée par la figure 6.

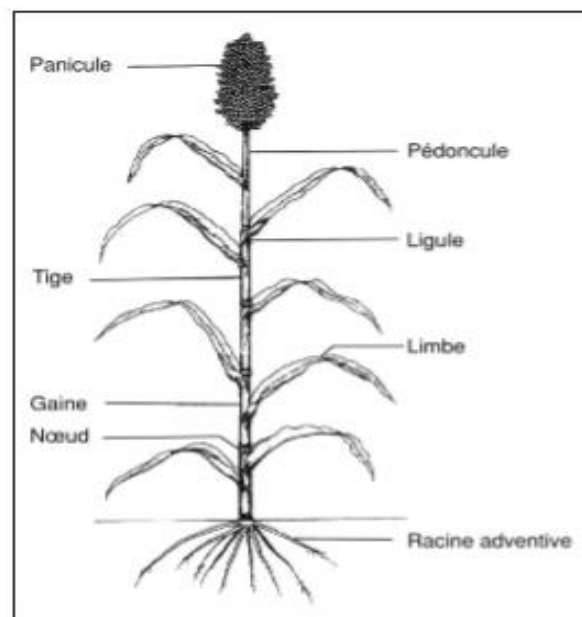


Figure 6 : Schéma d'un plan de sorgho à une seule tige principale (CLERGET, 2004).

3.1.3.1 Racine

Le système racinaire du sorgho est de type fasciculé, bien ramifié et très puissant, 90 % de la masse racinaire se situe dans l'horizon de la surface. Les racines peuvent s'enfoncer à une profondeur de 2 à 3 mètres et s'étendre latéralement sur 60 à 150 cm (HOUSE, 1987). Cette particularité explique en partie sa grande capacité à supporter les irrégularités des pluies et aussi le stress hydrique du sol.

3.1.3.2 Tige

La tige ou chaume est cylindrique, droite et divisée sur sa longueur en entre-nœuds et nœuds à nombres variables. Elle est remplie de parenchyme lâche vert ou coloré par l'anthocyane en rose ou rouge et couverte d'une cire de diamètre compris entre 5 et 40 mm. Le nombre de talles par pied varie tant en fonction des caractéristiques variétales que des conditions de culture : très élevé chez les sorghos fourragers, moyennement élevé chez les types Guinea et généralement faible voir nul avec les hybrides nord-américains. La hauteur de la plante à maturité varie de 50 cm à plus de 5 m.

3.1.3.3 Feuilles

Les feuilles sont distribuées de façon variable le long de la tige ; selon les cultivars et les conditions du milieu leur nombre varie de 7 à 24.

Elles sont alternes et se composent d'un faux limbe de 30 à 135 cm de long sur 1,5 à 13 cm de large et d'une gaine. La gaine est fixée à un nœud et entoure l'entre-nœud. Le bord des feuilles peut être droit ou ondulé. Les plantules de sorgho ont un limbe glabre à bord tranchant ce qui permet de distinguer le sorgho du maïs.

La nervure centrale des feuilles est de couleur blanche, ou jaune chez les types à tige sèche. Avec les variétés à moelle juteuse, cette coloration tourne au vert avec généralement une fine bande blanche centrale.

3.1.3.4 Inflorescence

L'inflorescence du sorgho est une panicule de forme et de dimensions variables selon les variétés. L'axe central ou rachis peut porter des ramifications d'ordre 1, 2 et même souvent 3. La longueur du rachis, les ramifications ainsi que leurs dispositions relatives déterminent la forme et la compacité de la panicule.

Les épillets sont groupés par paire dont l'un sessile hermaphrodite et l'autre pédicellé mâle ou stérile. Les épillets terminaux sont groupés par 3 dont 2 pédicellés et un sessile fécond.

3.1.3.5 Grains

Ce sont des caryopses de 4 ou 5 mm de long. Les grains sont ronds, ovoïdes ou piriformes. Un grain de sorgho (Figure 3) se compose d'un péricarpe ou tégument, d'un albumen et du germe ou embryon. Entre le péricarpe et l'albumen il peut y avoir une couche brune ou "testa" qui diminue les qualités alimentaires du grain. Le poids 1000 grains se situe entre 15 et 45 g selon les variétés (TRAORE, 2016). La couleur du grain de sorgho est une caractéristique variétale due à plusieurs facteurs génétiques. Elle peut aller du blanc au brun très foncé en passant par le jaune, l'orange, le rouge. Globalement, plus la couleur du grain est claire et plus sa teneur en tanins est faible et sa valeur nutritive bonne (TRAORE, 2016). Les grains atteignent leur maximum de matière sèche 25 à 30 jours après floraison et contiennent en ce moment 25% à 35% d'humidité (CHANTEREAU et NICOU, 1991).

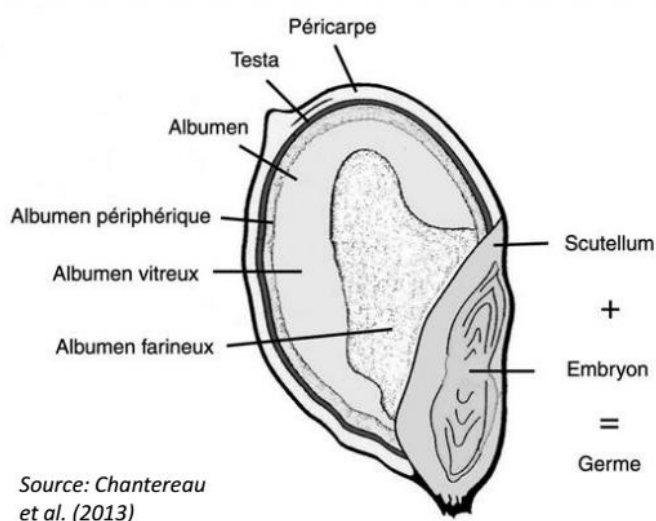


Figure 7 : Description de la graine de sorgho

3.1.4 Stades de développement du sorgho

La croissance et le développement du sorgho passent par trois phases : la phase végétative allant de la germination à l'initiation de la panicule ; la phase reproductive allant de l'initiation paniculaire à la floraison et la phase de remplissage et de maturation des graines allant de la floraison à la maturité physiologique.

➤ Phase végétative

Les graines de sorgho cultivé n'ont habituellement pas de dormance. Elles germent dès que les conditions de température et d'humidification du sol conviennent. C'est le début de la phase végétative.

Au Sahel, en saison des pluies, l'émergence de la coléoptile intervient trois ou quatre jours après un semis réalisé dans un sol humide et avec des températures journalières moyennes d'environ 27 °C. En zone tempérée, la levée prend un temps d'autant plus long que les températures sont plus fraîches. En même temps que croît la coléoptile, la racine séminale s'enfonce dans le sol (CHANTEREAU, 2014).

➤ Phase reproductive

Cette phase commence avec l'initiation paniculaire et se termine à la fécondation des fleurs des panicules. C'est la phase pendant laquelle les besoins de la plante en minéraux, en eau et en énergie lumineuse sont les plus élevés. Identiquement à la phase végétative, la phase reproductive présente des différences en termes de croissance et développement selon la sensibilité des variétés à la photopériode.

➤ Phase de maturation :

Cette phase débute à la fécondation des fleurs. Les glumes se ferment et les graines commencent leur croissance en gonflant lentement. Le contenu des graines prend une consistance laiteuse puis pâteuse et enfin dure. En passant du stade laiteux au stade pâteux, elles changent de couleur, en virant du vert à leur teinte définitive. En zone tropicale, les graines ont besoin de 30 à 35 jours pour arriver à la maturité physiologique qui correspond à l'apparition d'un point noir à leur base dans la région du hile. Pour le voir, il faut extraire les graines de leurs glumes. Le poids des graines est alors maximum et le taux d'humidité d'environ 30 %.

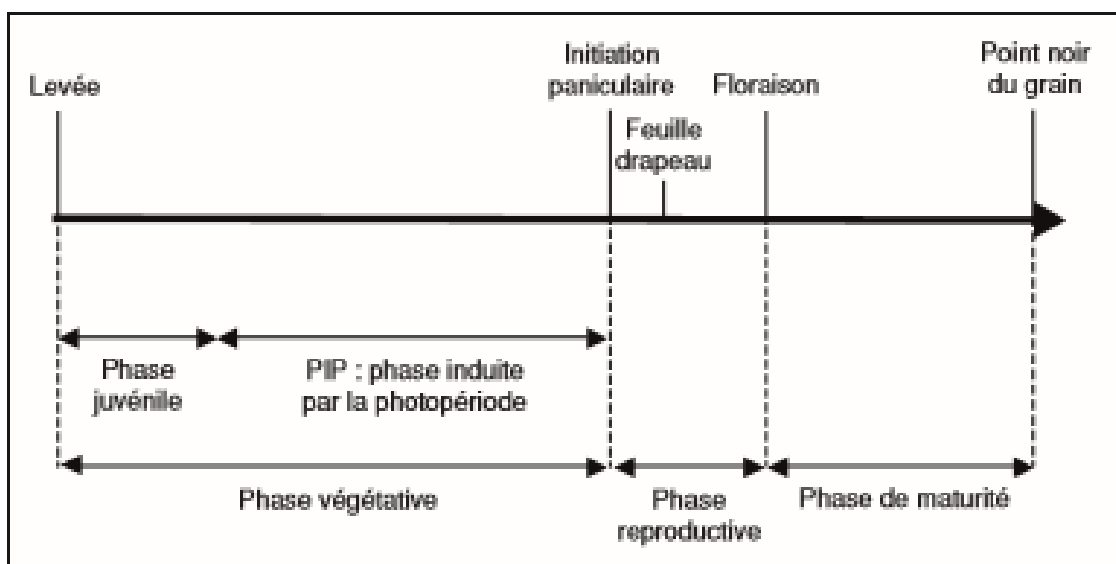


Figure 8 : Schéma de développement du sorgho (CHANTEREAU, 2014)

3.1.5 Photopériodisme

Le sorgho est une plante de jours court, c'est à dire que le bourgeon végétatif demeure ainsi (végétatif) jusqu'à ce que la durée du jour soit assez courte pour que le bourgeon floral puisse se développer. Cette photopériode dite critique diffère selon les variétés est indispensable pour l'initiation paniculaire des variétés sensibles.

3.1.6 Ecologie

Selon CHANTEREAU et NICOU, 1991, pour assurer un rendement maximum du sorgho, il faut donc que la plante puisse consommer 400 mm pour un cycle court, 700 mm pour un cycle long. Ainsi, pour une variété de cycle court, il faut une pluviométrie bien répartie située entre 500 et 600 mm; 650 à 800 mm pour une variété de cycle moyen, 950 à 1 100 mm pour une variété de cycle long, si l'on veut assurer le rendement optimal dans des conditions de bonne fertilité des sols.

Du point de vue température, le sorgho est exigeant. Si le sol est chaud (températures supérieures à 20°C), la germination a lieu rapidement (CHANTEREAU et NICOU, 1991).

Pendant la durée de sa végétation, l'optimum de température se situe vers 30° - 32°C. Le sorgho résiste aux températures élevées (<http://www.maep.gov.mg/filtecsorgo.htm>).

Le sorgho est une plante de lumière qui ne peut pas pousser normalement à l'ombre.

Par ailleurs, le sorgho est peu exigeant du point de vue qualité physique du sol, il est cultivé avec succès sur divers types de sols mais, préfère des sols argilo-sableux, un peu humifères, et contenant de l'azote et de potasse. Il redoute l'eau stagnante, les sols trop lourds et les sols légers (<http://www.maep.gov.mg/filtecsorgo.htm>).

Le sorgho préfère des sols à pH compris entre 6 et 7. Si le pH tombe au-dessous de 6, on peut appliquer de la chaux pour rentrer dans la gamme des valeurs optimales. (FAO, 1980).

3.1.7 Fertilisation d'une culture de sorgho

Les mobilisations minérales d'une culture de sorgho ont été déterminées en de nombreuses situations en Afrique de l'Ouest. D'une manière générale, on peut admettre les chiffres moyens suivants pour produire 100 kg de grains:

- N 3,5 kg dont 50 % dans le grain
- P₂O₅ 1,0 à 1,5 kg dont 50 % dans le grain
- K₂O 0,4 à 0,9 kg dont 90 % dans les pailles

- CaO 1,1 kg dont 90 % dans les pailles
- MgO 1,3 kg dont 90 % dans les pailles

Ces chiffres moyens varient bien évidemment (surtout pour le potassium) en fonction de:

- la variété locale ou améliorée, à pailles longues ou courtes;
- la fertilité du sol;
- la fertilisation minérale apportée;
- la pluviométrie.

A la lecture de ces chiffres on mesure l'importance primordiale de la restitution des pailles sous une forme ou sous une autre dans la culture intensive du sorgho (CHANTEREAU et al 1991).

3.1.8 Importance nutritionnelle

Le sorgho constitue une source d'énergie assez importante dans l'alimentation humaine. C'est aussi un bon aliment pour les volailles, les porcs et les ruminants. Sa composition est à peu près similaire à celle du maïs et est particulièrement riche en amidon (plus de 70% de la matière sèche). Comme le maïs, il a une faible teneur en lysine et son utilisation nécessite une supplémentation en acides aminés. Pour la teneur en matières grasses, elle est légèrement plus faible dans les grains de sorgho que dans le maïs. Le grain de sorgho est dépourvu de xanthophylles et 70% de son phosphore est lié dans le phytate (SAUVANT et *al*, 2004).

Au Mali, l'utilisation du sorgho est très variée. Le sorgho est utilisé dans beaucoup de préparations culinaires notamment le « tô », la bouillie, le couscous, les galettes, le « dèguè », la bière locale etc. Le sorgho est aussi utilisé dans l'alimentation des animaux (le sorgho fourrager). Les tiges sont également source de matériels de construction, d'énergies, de fabrication des nattes.

Dans les pays développés, le sorgho est destiné essentiellement à l'alimentation animale mais certaines industries l'utilisent dans la fabrication de farine, semoules, pains, biscuits, sirop, bière, fibre pour la papeterie, sucre pour la production de biocarburants et alcool (HOUSE, 1987).

3.1.9 Contraintes liées à la production du sorgho

Les contraintes sont classées en deux grands groupes qui sont d'ordre biotiques et abiotique. Mais on peut aussi ajouter les contraintes socio-économiques.

3.1.9.1 Contraintes abiotiques

Les zones semi-arides sont très généralement soumises à des aléas climatiques importants

Qui sont :

✓ Contraintes édaphiques

La dégradation des sols due à l'exploitation abusive et anarchique des terres pendant de très longues périodes, la mauvaise maîtrise des pratiques culturales etc.... Les sols sont pauvres .

✓ Contraintes climatiques

L'insuffisance et la mauvaise répartition des pluies (une pluviosité très forte entraînant des pertes de terres par érosion, ou une pluviosité faible entraînant la sécheresse) et les vents qui entraînent une évapotranspiration très intense de ces eaux.

3.1.9.2 Contraintes biotiques

Elles sont multiples.

- **Les pathogènes majeurs** : anthracnose, le mildiou du sorgho, les moisissures des grains etc.
- **Les insectes majeurs** : la mouche des semis, la cécidomyie, les punaises des panicules.
- **Les mauvaises herbes** : *Digitaria*, *Bracharia*, *Echinochloa*, *Setaria*, *Rottboellia*, *Pennisetum* ; sont des concurrentes très sérieuses du sorgho.
- **Les oiseaux** : Les oiseaux granivores constituent un risque majeur pour les cultures de sorgho et de mil. Dans le Sahel le quelea à bec rouge (*Quelea quelea*) est considéré comme l'un des plus nombreux et dangereux prédateurs aviaire du monde (BRUGGERS et JAEGER, 1982). Ces oiseaux se nourrissent normalement des semences de graminées sauvages, mais peuvent provoquer d'importants dégâts dans les cultures de sorgho à partir du stade laiteux.

3.1.9.3 Contraintes socio-économiques

Il s'agit surtout de :

- Faibles revenus des producteurs ;
- Déséquilibre entre le prix des engrais et le prix d'achat du sorgho aux producteurs ;
- Manque de filières bien structurées et le sous équipement des producteurs ;
- Existence de maladies invalidantes et exode rural ;
- Absence de crédit aux producteurs ;
- L'insuffisance de la transformation primaire et secondaire.

3.2 Sorgho à double usage

3.2.1 Caractéristiques

Le sorgho à double usage est un type de sorgho produisant de grains pour la consommation humaine et du fourrage de qualité pour l'alimentation animale. Ces variétés ont généralement des tiges moins lignifiées avec de nombreuses feuilles qui restent vertes jusqu'à la maturité physiologique.

C'est suite aux demandes croissantes en fourrage due à l'augmentation du bétail et la réduction des superficies de pâturage que l'ICRISAT-MALI en collaboration avec l'IER a développé ces nouvelles variétés qui combinent un rendement grain élevé et une importante qualité de tiges. Certaines variétés ont même la tige sucrée et juteuse, appelées sorgho sucré à multiples usages. Le premier lot de variétés à double usage a été inscrit au catalogue national Malien de semence en 2015 puis au catalogue régional en 2016 (ICRISAT, 2016).

3.2.2 Importances

Ces variétés à double usage peuvent être bénéfiques pour les agriculteurs à faibles revenus, en fournissant des grains pour la consommation humaine et le fourrage pour le bétail.

Avec sa faible teneur en lignine, le sorgho à double usage est plus digeste par les animaux que les variétés locales de sorgho qui sont de grande taille et très lignifiées.

3.3 Généralité sur la fertilisation

3.3.1 Définition et importance de la fertilisation

La fertilisation, c'est l'action qui consiste à effectuer des apports d'engrais organique ou minéraux, nécessaires au bon développement des végétaux.

Elle peut donc être réalisée sous forme d'amendements humifères (organique) ou minéraux (chimique) (FERTIAL, 2010). La fertilisation est le processus consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante. L'importance de la fertilisation est l'amélioration des rendements.

3.3.2 Fertilisation minérale :

La fertilisation minérale a pour but d'apporter le complément nécessaire à la fourniture du sol en vue de répondre aux besoins physiologiques des plantes pour une croissance et un développement optimum.

3.3.3 Fertilisation organique :

La fertilisation organique ou amendements, c'est l'incorporation au sol, de matières organiques plus ou moins décomposées, tels que les fumiers. Elle permet d'améliorer la structure du sol et d'augmenter la capacité du complexe argilo-humique à stocker les éléments nutritifs.

Les engrais organiques sont précieux, non seulement parce qu'ils apportent aux plantes des éléments nutritifs mais aussi parce qu'ils ont un effet favorable sur l'état du sol en général. La matière organiques améliore la structure, diminue l'érosion du sol, et produit un effet régulateur sur sa température et l'aide à emmagasiner davantage d'eau. Grâce à ces propriétés, les engrais organiques sont souvent la base même du succès des engrais minéraux (FERTIAL, 2010)

En Afrique de l'Ouest, on estime qu'un apport de 5 t/ha de fumier tous les deux ans, permet de maintenir le niveau de fertilité des sols, d'empêcher l'apparition de phénomènes d'acidification, tout en favorisant les augmentations de rendement des cultures céréalières (CHANTEREAU et NICOU, 1991)

4 ETUDE PRATIQUE

4.1 Objectifs

4.1.1 Objectif général

Evaluer la productivité en grain et en fourrage de nouvelles lignées de sorgho en fonction de trois types de fertilisation dans la zone de Bougouni.

4.1.2 Objectifs spécifiques

- Identifier les variétés qui combinent grain et fourrage et qui s'adaptent mieux aux conditions agro-climatiques de la zone de Bougouni ;
- Evaluer l'effet de différents types de fertilisation sur la productivité en grain et en fourrage des variétés de sorgho à double usage.

4.2 Matériel et méthodes

4.2.1 Matériel

4.2.1.1 Matériel végétal

Les variétés utilisées sont au nombre de 4 parmi lesquelles 3 variétés améliorées et une variété locale :

- **Tiandougou coura**

Tiandougou coura est une variété sucrée à double usage. La densité de sa panicule est moyenne. Son rendement potentiel en grain est 2.8 t/ha. Elle est photosensible. Son cycle est de 85 jours.



Figure 9 : Variété Tiandougou coura

- **Soubatimi**

Soubatimi est une variété sucrée à double usage. La densité de sa panicule est moyenne. Son rendement potentiel en grain est 3 t/ha. Elle n'est pas photosensible. Son cycle semis-floraison est de 85 jours.



Figure 10 : Variété Soubatimi

- Péké

C'est une variété sucrée à double usage. La densité de sa panicule est compacte. Son rendement potentiel en grain est 2.1 t/ha. Elle est légèrement photosensible. Son cycle est de 100 jours.



Figure 11 : Variété Péké

- Nio djonani

C'est une variété largement cultivée et maintenue par les paysans de Bougouni. Son cycle est de 90 jours. Son rendement potentiel en grain est de 3 t/ha.

4.2.1.2. Intrants utilisés

- DAP

Le phosphate de diammonium ou phosphate diammonique ou hydrogénophosphate d'ammonium, est un composé chimique de formule $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Il s'agit d'un sel d'ammoniac NH_3 et d'acide phosphorique H_3PO_4 , constitué de cations ammonium NH_4^+ et d'anions hydrogénophosphate HPO_4^{2-} . Il se forme à l'état de poudre cristalline lorsqu'on mélange deux solutions concentrées d'ammoniac et d'acide phosphorique, en même temps que le phosphate d'ammonium $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ et le phosphate de monoammonium $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ en fonction de la concentration relative en ammoniac et en acide phosphorique: $2 \text{ NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

En agriculture, le phosphate de diammonium est également appelé de façon indifférente DAP (de l'anglais *Diammonium Phosphate*) ou 18-46-0 (18 % N, 46 % P_2O_5 , 0 % K_2O). Il se

dissout très facilement dans l'eau, donnant une solution aqueuse faiblement basique de pH compris entre 7,6 et 8,2 pour une concentration de 100 g de DAP par litre d'eau. (Wikipédia)

- **Urée**

L'urée est hydrolysée en ammoniac et en dioxyde de carbone dans le sol sous l'action des uréases microbiennes : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2$

L'urée, qui contient 46% d'azote, ne pourrait être utilisée comme engrais en raison de son caractère hygroscopique élevé. La présentation en granulé ou perles de calibre homogène est nécessaire pour la régularité de l'épandage.

Sur le plan agronomique, c'est une formulation intéressante car sa minéralisation est progressive. On l'utilise généralement en couverture sur des cultures d'hivernage.

L'hydrolyse de l'urée provoque une alcalinisation du fait de la consommation de protons. Le pH peut atteindre 9 à proximité immédiate du granulé d'engrais. (Wikipédia)

- **La fumure organique (bouse de vache)**

La bouse de vache est un engrais naturel très performant, utilisé dans tous les pays où sont élevés les bovins. Souvent, c'est le fumier, mélange de bouse et de paille (ou bois déchiqueté, rameaux de buis, etc.) issue des étables, qui est épandu dans les champs et prés pour fertiliser les sols. Une vache adulte produit en moyenne 12 bouses par jour (d'environ 3 kg chacune). Les bouses sont constituées de 80 à 90% d'eau. (Wikipédia)

4.2.1.2 Matériel technique

Le matériel technique est composé de :

- Une balance de précision pour connaître la quantité de fumure organique, de DAP et l'urée, les poids des panicules, de grains, et une balance romaine pour la biomasse ;
- Un mètre ruban, des cordes et des piquets pour dimensionner les parcelles ;
- Un GPS pour prendre les coordonnées du site de l'essai ;
- Une houe et une daba respectivement pour le semis et le sarclage ;
- Une règle graduée de 6 m pour mesurer la hauteur des plantes.

4.2.1.3 Site

L'essai a été implanté à Madina dans le cercle de Bougouni au parc Africa Rising de l'ICRISAT et a pour coordonnées géographiques: 12°20,767' Nord, 007°39,775' Ouest et une altitude moyenne de 350m. Le parc est situé à 20 km de Bougouni sur un sol sablo-limoneux. C'est une nouvelle parcelle, elle a été défrichée au mois d'avril 2016. C'est le sorgho qui a été semé à l'hivernage 2016 et aucun fertilisant n'a été apporté au cours de cette campagne. Au

mois de février 2017, un apport de fumure organique fut effectué à la dose de 5 t/ha, puis l'installation d'une culture d'oignon au mois de mars.

Durant cette campagne agricole 2017 ; 795 mm de pluies ont été enregistrés au cours de 31 jours (figure 12). Les mois de juillet, d'août et septembre ont été les plus pluvieux avec respectivement 345 mm, 184 mm et 146 mm.

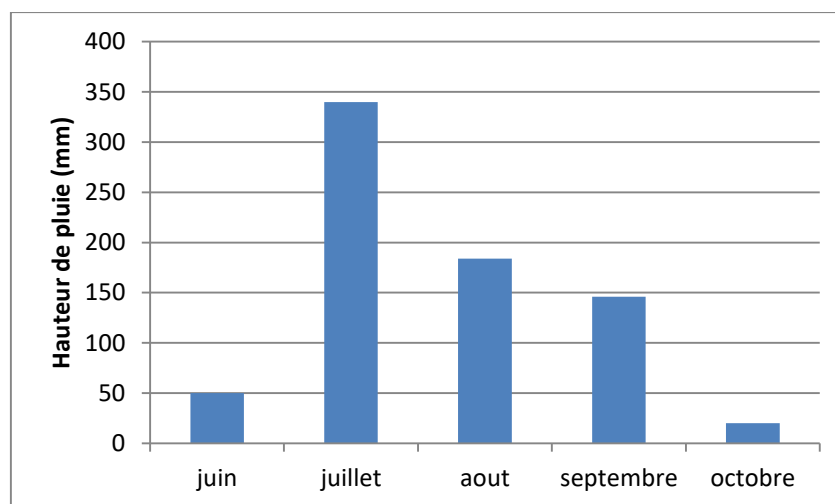


Figure 12 : Pluviométrie mensuelle enregistrée au cours de l'essai en 2017.

4.2.2 Méthodes

4.2.2.1 Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est le split-plot avec 2 répétitions. Chacune de ces répétitions est divisée en 12 sous-blocs où l'ensemble des variétés ont été semées. Dans chaque sous-bloc il y a 10 billons de 5m chacune. Chacune des sous-parcelles a une superficie de 40 m² et abrite une variété. La superficie du bloc est de 32 m × 5 m soit une superficie de 160 m². La distance entre répétitions est de 2 m. La superficie totale de l'essai est de 1216 m².

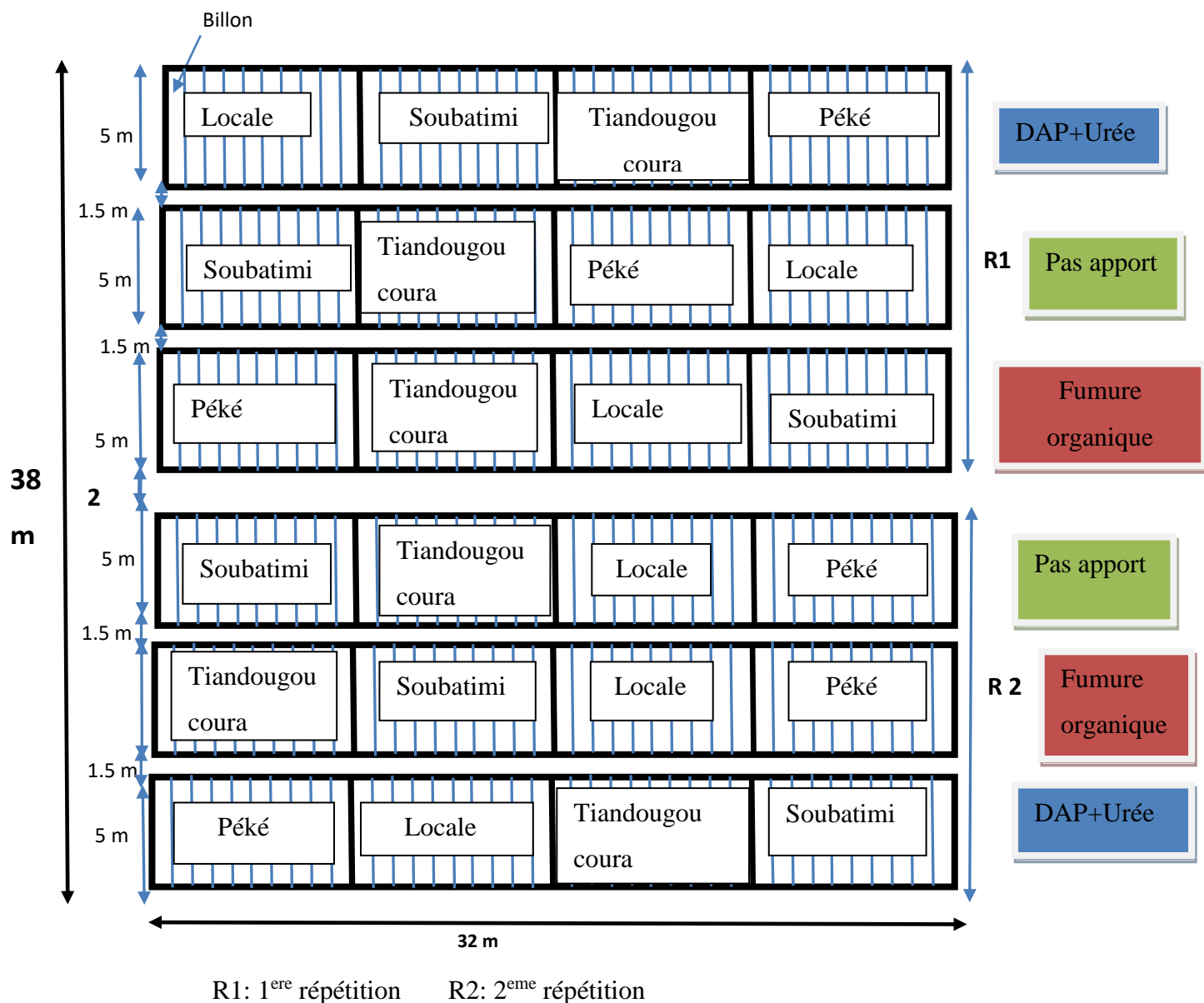


Figure 13 : Plan de masse de l'essai

Deux facteurs ont été étudiés :

- Le type de fertilisant avec 3 niveaux de variation dont les traitements principaux sont : la fumure organique, le DAP+Urée et la pratique sans engrais). Le type de fertilisation constitue le facteur principal ;
- La variété avec 4 niveaux de variation : Tiandougou coura, Péké, Soubatimi (variétés améliorées) et nio djonani (la variété locale du village) qui constituent le facteur secondaire.

4.3 Préparation des semences

Le logiciel BMS 3.0.9 (Breeding Management System 3.0.9), a été utilisé pour la randomisation des variétés de sorte à les avoir aléatoirement affectées à chaque parcelle par répétition. Les étiquettes ont été ensuite imprimées avec les numéros de parcelle, la répétition, le nom de la variété et la pratique agronomique ou type de fertilisation.

Nous avons préparé les mini-grip sur lesquelles les étiquettes sont collées avec les informations mentionnées ci-dessus sur ces étiquettes. La quantité de semence 489,6g (soit environ 4 kg/ha) pour l'essai a été pesée et mise dans les mini-grip. Elles ont ensuite été traitées avec l'Aprons star Plus (thiamethoxan, metalaxyl-M, difenoconazolé), un insecticide fongicide à la dose de 10 g pour 4 kg de semences.

4.3.1.1 Préparation du sol

Le labour à plat a été effectué le 11 juin avec la traction animale. A l'aide d'un mètre ruban et des piquets sur lesquels sont attachées les étiquettes, les parcelles élémentaires ont été délimitées le 05 juillet 2017 avec la méthode 3-4-5 basée sur le théorème de Pythagore.

4.3.1.2 Semis

Les semences ont été déposées au niveau de la parcelle correspondante en prenant soin de vérifier les informations sur l'étiquette et sur le sachet avant d'être semées en serpent in suivant les bandes et par répétition. Le semis a été effectué le 05 juillet 2017 à raison de 4 à 6 graines par poquet à une profondeur de 5 cm. La distance entre les lignes est de 0.80 m et entre les poquets 0.30 m.

4.3.1.3 Entretien

Les travaux d'entretien ont porté essentiellement sur le sarclo-binage, le démariage et la reconstitution de billons. Un seul sarclo-binage a été effectué et un démariage à raison de 2 plants par poquet réalisés le 18 juillet 2017.

Un apport d'engrais a été effectué le 27 juillet 2017:

- Le DAP $(\text{NH}_4)_2 \text{H}_2\text{PO}_4$ (18-46-0) à la dose de 100kg /ha soit 1.6kg/bloc de 160 m² ;
- L'Urée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (46% N) à la dose de 50kg/ha soit 0.8kg/bloc de 160 m² ;
- La fumure organique a été apportée à la dose de 5t/ha soit 80kg/bloc de 160 m².

Tableau 2 Calendrier de réalisation des opérations culturales

Opérations culturales	Dates d'exécution
Préparations des semences	23/06/2017
Labour	11/06/2017
Délimitation de la parcelle, Piquetage et semis	05/07/2017
Sarco-binage	18/07/2017
Récolte	16/11/2017
Battage	23/11/2017
Pesages des grains	23/11/2017

4.3.1.4 Observations

Les observations ont porté sur :

- **Cycle 50 % épiaison**

Cette date correspond à l'émergence de 50% des plants d'une parcelle. Nous avons entamé cette opération le 10 septembre et les observations ont consisté à apprécier visuellement et par un comptage de toutes les panicules depuis le premier jour d'apparition des premières inflorescences jusqu'à ce que la moitié (50%) des plants émettent des panicules. Elles ont porté sur toutes les 10 lignes de la parcelle.

- **Hauteur de la plante**

Il s'agit de la distance qui sépare le sommet de la panicule du sol. Elle a été mesurée à l'aide d'une règle graduée de 6m de long.

- **Poids de la biomasse fraîche totale**

Pour avoir ce poids, nous avons pris les tiges et les feuilles fraîches des 6 lignes centrales de chaque parcelle après la récolte puis les peser avec une balance romaine.

- **Poids de la biomasse sèche**

Un échantillon de tige a été prélevé, haché et mis dans un sac d'oignon (avec des trous pour l'aération). Cet échantillon a été ensuite pesé puis exposé au soleil environ 1 mois avant d'être pesé. A cause de la contrainte de temps, nous ne pourrions pas inclure ces données dans le rapport.

- **Poids des panicules sèches récoltées**

Le poids des panicules pleines récoltées a été pris après séchage pendant environ une semaine.

- **Poids des grains**

Cette opération à consister à faire le battage dans les sacs de récolte, pour réduire la perte des graines. Ensuite nous avons pris le poids des grains en g. Il servira au calcul du rendement qui est le rapport entre le poids total de grains récoltés sur la superficie de la parcelle.

4.3.1.5 Analyse des données

Les logiciels Excel et Genstat Edition 14 ont été utilisés pour les analyses statistiques. D'abord nous avons utilisé Excel pour la vérification des données brutes et la construction des histogrammes de distribution alors que le Genstat a été utilisé pour les analyses de variances.

4.4 Résultats et discussion

4.4.1 Variétés qui combinent grain et fourrage et bien adaptées à la zone de Bougouni

4.4.2 Rendement grain

La variété Soubatimi avec une moyenne de 4,3 t/ha a obtenu le rendement grain le plus élevé suivi de la variété Tiandougou coura (3,2 t/ha) et la variété Péké (2,7 t/ha). La variété locale a eu le plus faible rendement en grain avec un rendement moyen de 2,4 t/ha (toute pratique confondue). Ainsi, toutes les variétés utilisées lors de la réalisation de cet essai excepté la variété locale ont enregistré un rendement supérieur à ceux de l'essai réalisé au Burkina Faso par OUEDRAOGO (2014) qui stipule qu'en zones agro-écologiques de 800 à 1000 mm de pluviométrie la variété Tiandougou coura donne un rendement moyen en station de 2,5 t/ha et dans la plaine de la Vallée de Kou située à 25 km de Bobo-Dioulasso le rendement moyen a été de 1,7t/ha. Dans l'ensemble, nos rendements ne sont pas trop différents de ceux des zones où le sorgho est couramment cultivé. Selon House (1987), les rendements de 3 à 4 t/ha sont obtenus dans les meilleures conditions et seulement de 0,30 à 1t/ha si l'approvisionnement en eau devient limitant.

En termes de gain de rendement par rapport à la variété locale, Soubatimi a eu un gain de rendement de 79,16% ; Tiandougou coura a obtenu 25,92% et Péké 12,5%.

Tableau 3 : Performance des variétés améliorées à double usage comparées à la variété locale sur la base du rendement grain

Variétés	Rendement moyen en grain (t/ha)	Gain en rendement grain par rapport à la variété locale (%)
Soubatimi	4,3	79,16
Tiandougou coura	3,2	33,33
Péké	2,7	12,5
Locale	2,4	

4.4.2.1 Rendement fourrage

Les variétés Soubatimi et locale ont exprimé le meilleur rendement fourrage avec respectivement 33,40 t/ha et 33,34 t/ha.

Alors que les variétés Péké et Tiandougou coura ont obtenu respectivement 33 et 31,56 t/ha. Le rendement en fourrage pour la variété tiandougou coura (31,56 t/ha) est semblable aux résultats obtenus par OUEDRAOGO dans la plaine de la Vallée de Kou en 2014 avec un rendement moyen de 31,78 t/ha.

Entre les différentes variétés mises en compétition, la différence en termes de rendement de fourrage n'est qu'arithmétique. Cependant selon CHANTEREAU et al (2001) il existe chez les sorghos une variabilité élevée pour des caractères comme l'importance de la biomasse, le rapport feuille sur grain et la richesse en sucre des tiges.

La variété locale a eu un rendement fourrage élevé avec la qualité du fourrage faible à cause du taux élevé de la lignine et selon CHANTEREAU (2001), en dépit de l'importance de la biomasse liée à une grande taille, il est difficile de trouver chez les sorghos « guinea » locaux ouest africains les qualités requises pour conduire à un bon fourrage.

Tableau 4 : Performance des variétés améliorées à double usage comparées à la variété locale sur la base du rendement fourrage

Variétés	Rendement moyen en fourrage (t/ha)
Soubatimi	33,40
Tiandougou coura	31,56
Péké	33,00
Locale	33,34

4.4.3 Comparaison des variétés améliorées à la variété locale sur la base du cycle semis-épiaison

La figure 14 montre que les variétés Soubatimi et Tiandougou coura ont un cycle semis-épiaison précoce avec respectivement une moyenne de 70 et 83 jours après le semis (05 juillet) qui correspondent au 13 et 26 septembre. Par contre la variété péké et la variété locale ont le même cycle avec une moyenne de 92 jours après le semis qui correspond au 05 octobre. Il ressort de cette analyse que les variétés Péké et locale sont plus tardives par rapport aux variétés Soubatimi et Tiandougou coura. Toutes les variétés testées ont un cycle compris entre 70 et 92 jours. Selon House (1987), le sorgho s'adapte à de nombreux milieux, ayant besoin de 90 jours à 140 jours pour parvenir à maturité.

Les variétés Soubatimi et tiandougou coura sont plus précoces que la variété locale par conséquent, les oiseaux par leurs dégâts, peuvent constituer un problème sérieux, particulièrement lorsque la culture arrive à maturité beaucoup plus tôt ou plus tard que le type local et des dispositions doivent être prises pour sauver les récoltes.

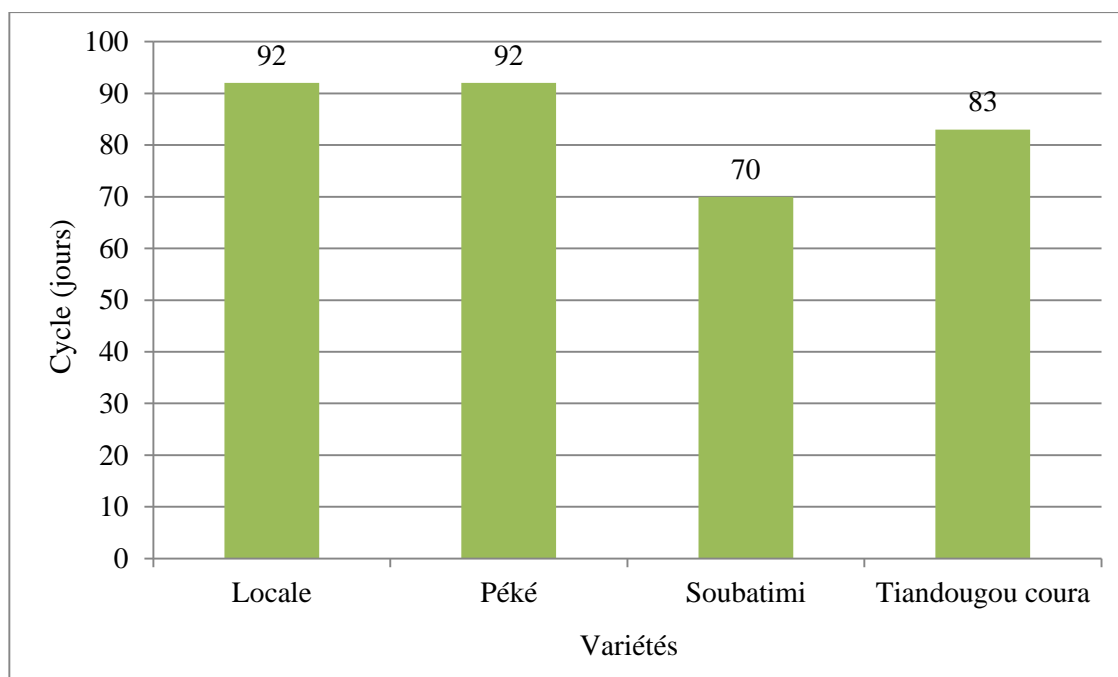


Figure 14 : Cycle semis-épiaison des variétés à double usage par rapport à la variété locale

4.4.4 Comparaison des variétés améliorées à la variété locale sur la base de la hauteur des plants

L'analyse montre que les variétés : Soubatimi, Tiandougou coura et Péké avec respectivement 264,6 cm ; 254,8 cm et 239,6 cm ont une hauteur moyenne inférieure à celle du témoin local qui a eu une hauteur moyenne de 440,8 cm. S'agissant de la hauteur moyenne des plants de la variété Tiandougou coura nos résultats sont différents de ceux de OUEDRAOGO (2014) avec une hauteur moyenne de 172 cm.

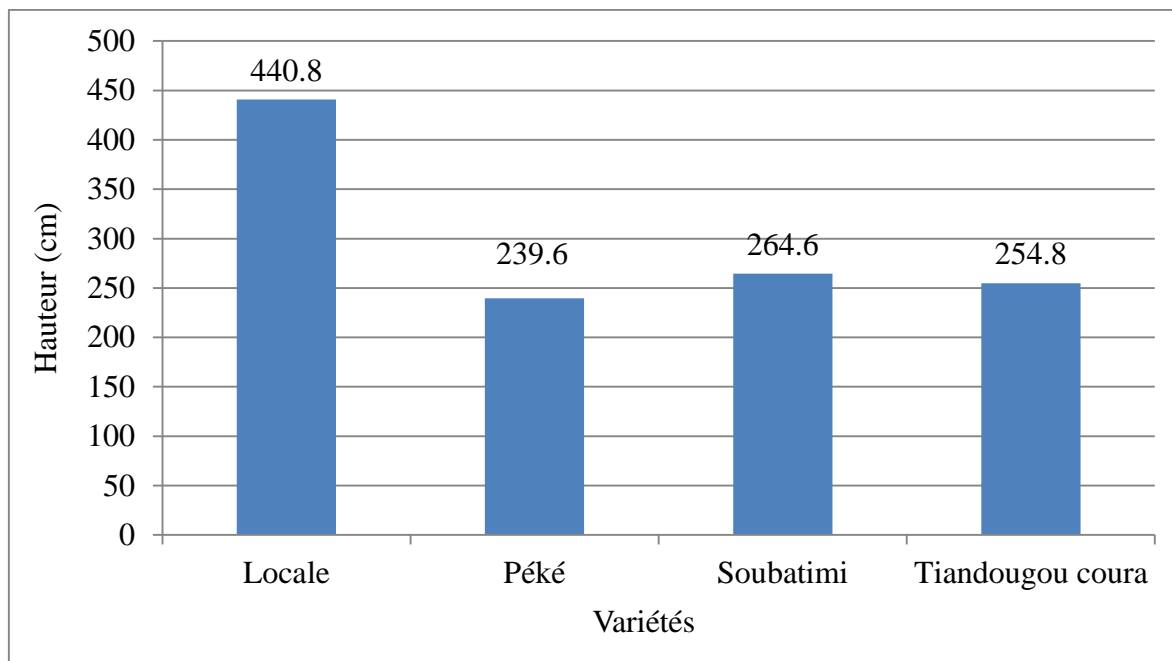


Figure 15 : Hauteur des variétés à double usage par rapport à la variété locale

Au regard de ces résultats obtenus par rapport à la hauteur, au cycle semis-épiaison et au rendement grain et fourrage, ce sont les variétés Soubatimi et Tiandougou coura qui combinent mieux rendement grains et rendement fourrage et ce sont ces mêmes variétés qui ont été appréciées par les producteurs.

4.4.5 Effet de différents types de fertilisation sur la croissance et la productivité en grain et en fourrage des variétés à double usage

4.4.6 Effet du type de fertilisant sur le cycle semis-épiaison

Ici nous constatons qu'avec l'apport de DAP+Urée, c'est la variété Soubatimi qui a eu le cycle le plus précoce avec 68 jours après le semis, suivi de la variété Tiandougou coura avec 82 jours après le semis. Alors que les variétés Péké et locale ont eu respectivement 92 et 93 jours pour épier.

Concernant l'apport de la fumure organique, nous remarquons que c'est toujours les variétés Soubatimi et Tiandougou coura qui ont eu le cycle semis-épiaison le plus précoce avec respectivement 70 et 81 jours après le semis, tandis que les variétés locale et Péké ont eu respectivement 92 et 94 jours pour épier.

Avec la pratique sans apport de fertilisant, c'est toujours les variétés Soubatimi et Tiandougou coura qui ont eu le cycle le plus précoce avec respectivement 73 et 86 jours pour

épier. Alors que les variétés Péké et locale sont statiquement égales avec une moyenne de 91 jours pour épier.

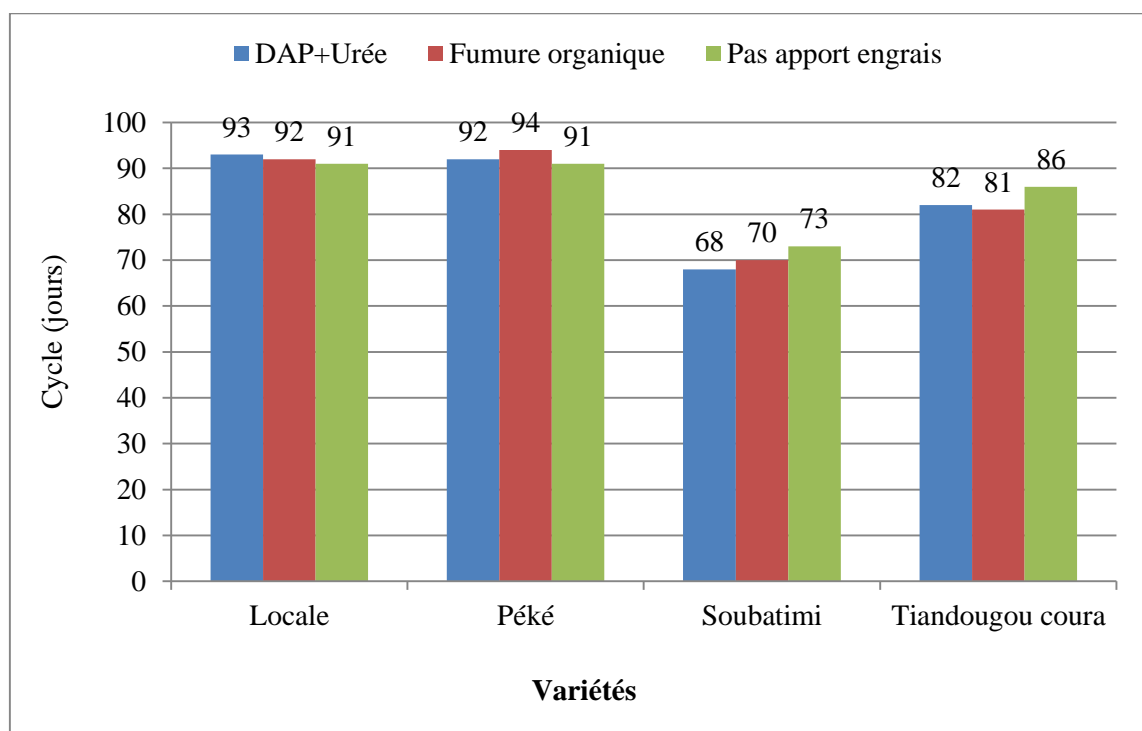


Figure 16 : Cycle semis-épiaison des plants des variétés à double usage sous différents fertilisants

Il y a une variation du cycle suivant le type de fertilisant mais l'analyse de variance présentée dans le tableau 4, montre que cette différence n'est pas significative avec $p = 0.677$. Par contre la différence de cycle entre les variétés est hautement significative avec un $p < 0.001$. L'interaction entre les types de fertilisants et les variétés n'est pas aussi significative avec $p = 0.181$.

Tableau 5 : Analyse de variance du cycle des variétés

Variables	DDL	SCE	Carré des moyennes	Variance	P
Types de fertilisants	2	3.746	1.873	0.4	0.677
Variétés	3	1891.651	630.55	136	<.001
Interaction Types de fertilisants ×Variété	6	51.081	8.514	1.84	0.181
Erreur	11	51	4.636		
Total	22	1997.478	90.794		

4.4.7 Effet des types de fertilisants sur la hauteur des plants

Au regard du graphique de la Figure 14, nous remarquons, avec l'apport de DAP+Urée, que ce sont les variétés locale et Soubatimi qui ont obtenu la plus grande hauteur avec respectivement 435 et 280 cm, suivi de la variété Péké avec 270 cm. La plus petite hauteur a été obtenue chez la variété Tiandougou coura avec 265 cm.

Par rapport à la fumure organique, nous constatons que c'est toujours la variété locale qui a obtenu la hauteur la plus élevée avec 437,5 cm suivi de la variété Soubatimi avec 277,5 cm. Les variétés Tiandougou coura et Péké ont eu respectivement 251 et 221,5 cm.

Avec la pratique sans apport d'engrais, la plus grande hauteur a été obtenue avec la variété locale, suivi de la variété Tiandougou coura avec 248,5 cm. Les variétés Soubatimi et Péké ont eu respectivement 236,5 et 227,5 cm.

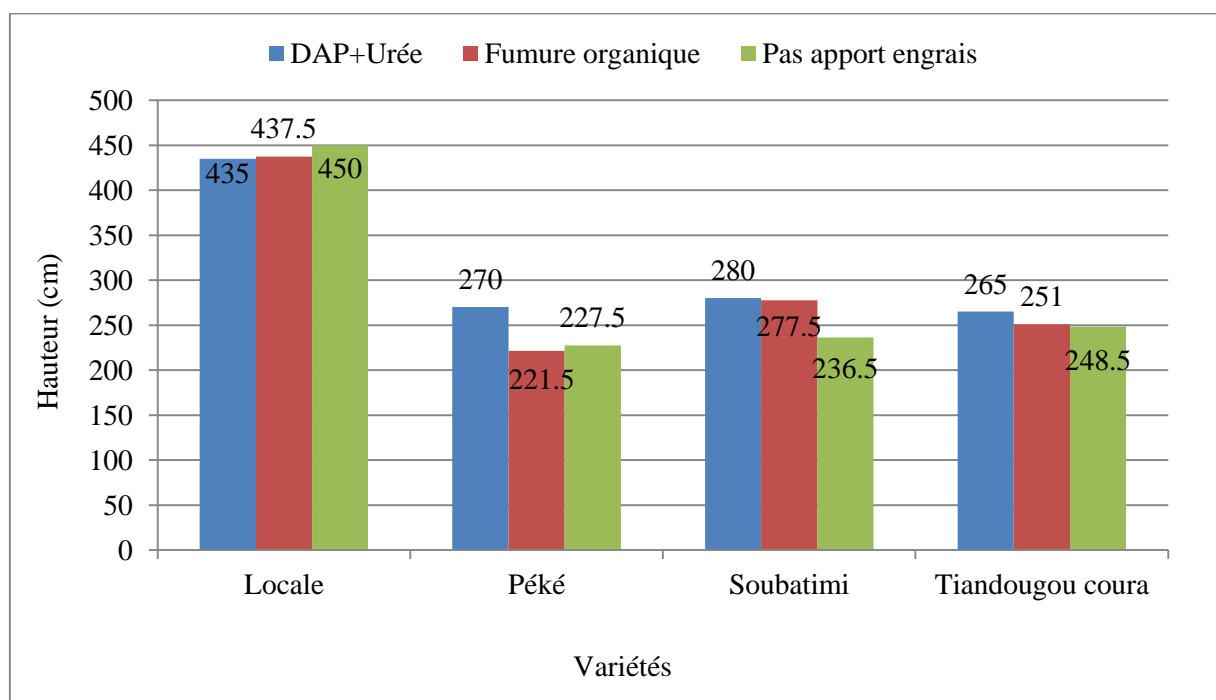


Figure 14 : Effet des types de fertilisation sur la hauteur des plants des variétés à double usage.

L'analyse de variance a montré une différence hautement significative $p < 0,001$ en ce qui concerne la hauteur des plants entre les variétés. Par contre l'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative par rapport à la hauteur des plants $p = 0.262$ sous l'effet des différents types des fertilisants ; il en est de même par rapport à l'interaction entre les types de fertilisants et les variétés $p = 0.516$.

Tableau 6 : Analyse de variance de la hauteur des variétés

Variables	DDL	SCE	Carré des moyennes	Variance	F.
Types de fertilisants	2	2031.2	1015.6	1.5	0.262
Variétés	3	160575.7	53525.2	78.97	<.001
Interaction types de fertilisants ×Variété	6	3726.1	621	0.92	0.516
Erreur	12	8133	677.7		
Total	23	174466	7585.5		

4.4.8 Effet des types de fertilisants sur le rendement grain

Pour ce paramètre nous constatons qu'il y a une différence significative entre les variétés avec $F_{pr} = 0.002$. Mais pour l'interaction entre types de fertilisants et les variétés la différence n'est pas significative $p = 0.141$. Par contre nous remarquons une différence significative entre les types de fertilisants avec $p = 0.010$.

Tableau 7 : Analyse de variance du rendement grain des variétés

Variables	DDL	SCE	Carré des moyennes	Variance	P
Types de fertilisants	2	37292	18646	8.79	0.010
Variétés	3	81260	27087	12.77	0.002
Interaction types de fertilisants × Variété	6	28789	4798	2.26	0.141
Erreur	8	16970	2121		
Total	19	164311	8648		

Toutes les variétés ont réagi à l'effet de la fertilisation (minérale et organique). Ainsi nous constatons qu'avec l'apport de DAP+Urée que ce sont les variétés Soubatimi et Tiandougou coura qui ont obtenu le rendement grain le plus élevé avec respectivement 5,1 et 3,5 t/ha, tandis que la variété Péké a obtenu 2,8t/ha. Le rendement grain le plus faible a été obtenu avec la variété locale avec une moyenne de 2,5 t/ha.

Avec l'apport de fumure organique, ce sont toujours les variétés Soubatimi et Tiandougou coura qui ont obtenu le rendement grain le plus élevé avec respectivement 4,5 et 3,5 t/ha suivi des variétés Péké et locale avec respectivement 2,3 et 2,2 t/ha.

En fin, avec la pratique paysanne (sans apport d'engrais) ce sont les variétés Soubatimi et Péké qui ont obtenu le rendement grain le plus élevé avec respectivement 3,1 et 3,02 t/ha, tandis que les variétés Tiandougou coura et locale ont donné respectivement 2,7 et 2,5 t/ha.

Selon les résultats de YAYE (2013) des essais à base de DAP+Urée (100kg/ha DAP + 50kg/ha d'urée) avec la variété CSM 388 localement appelée Jigisèmè a permis d'obtenir un rendement (2,7 t/ha) supérieur par rapport au traitement sans fertilisant (1,4t/ha). En mettant l'accent sur la bonne application des itinéraires techniques (apports de fumures organiques et minérales, semis, sarclages...) et l'utilisation des variétés améliorées les rendements des cultures peuvent être améliorés de manière satisfaisante.

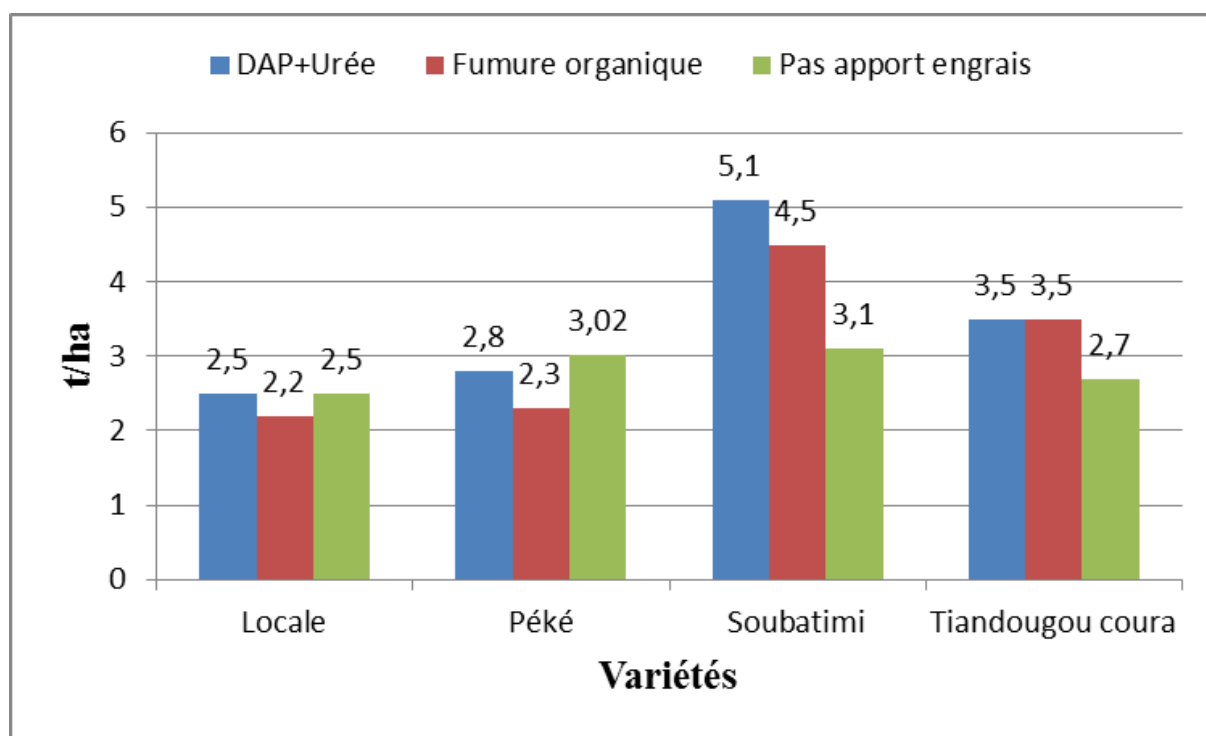


Figure 15 : Rendement grain des variétés à double usage sous différents fertilisants

4.4.9 Effet des types de fertilisants sur le rendement fourrage

Le tableau 7 ci-dessous nous montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes en ce qui concerne le rendement de biomasse entre les variétés, entre les types de fertilisations et l'interaction entre les types de fertilisations et les variétés.

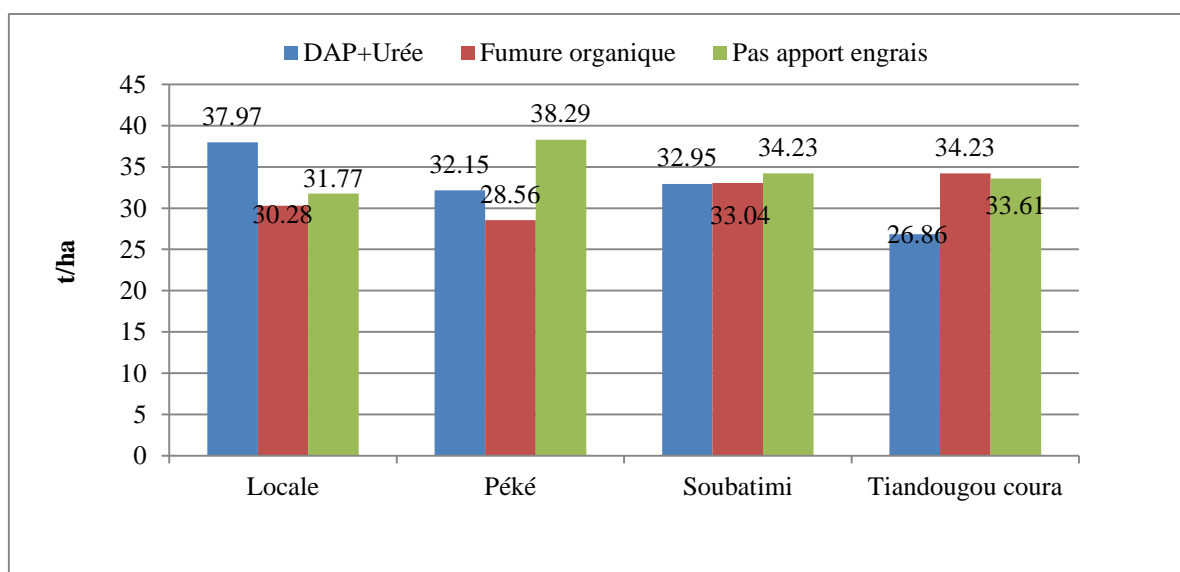
Tableau 8 : Analyse de variance de la biomasse des variétés

Variable	DDL	SCE	Carré des moyennes	Variance	P
Types de fertilisations	2	8.5	4.25	0.14	0.871
Variétés	3	94.56	31.52	1.03	0.415
Interaction Types de fertilisations × Variété	6	506.51	84.42	2.77	0.068
Erreur	11	335.19	30.47		
Total	22	944.76	42.94		

Vu cette graphique, nous voyons qu'avec l'apport de DAP+Urée que c'est la variété locale qui obtenu le rendement fourrage le plus élevé avec 37,97 t/ha, suivi de la variété Soubatimi avec 32,95 t/ha. Les variétés Péké et Tiandougou coura ont obtenu respectivement 32,15 et 26,86 t/ha.

Pour l'apport de fumure organique, nous remarquons que c'est les variétés Tiandougou coura et Soubatimi qui ont obtenu le rendement fourrage le plus élevé avec respectivement 34,23 et 33,04 t/ha, tandis que les variétés locales et Péké ont obtenu respectivement 30,28 et 28,56 t/ha.

Avec la pratique sans apport de fertilisant, nous constatons que c'est la variété Péké qui a eu le rendement fourrage le plus élevé avec 38,29 t/ha, suivi de la variété Soubatimi avec 34,23 t/ha. Les variétés Tiandougou coura et locale ont obtenu respectivement 33,61 et 31,77 t/ha.

**Figure 16 : Rendement fourrage des variétés à double usage sous différents fertilisants**

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Au terme de cette étude réalisée dont le but était d'identifier les variétés qui combinent grain et fourrage et bien adaptées à la zone d'étude et d'évaluer l'effet de différents types de fertilisation sur la productivité en grain et en fourrage des variétés à double usage, deux variétés, soubatimi et Tiandougou coura, ont été identifiées pour leur double usages. Nous avons constaté une différence significative entre les variétés pour le rendement grain, le cycle et la hauteur des plants. Pour la biomasse nous avons remarqué que la différence du rendement de biomasse entre les variétés n'est pas significative avec $p = 0.415$.

Les résultats de l'analyse nous ont montré que l'effet du type de fertilisant est significatif sur le rendement grain uniquement ; et pas sur les autres caractères. Le DAP+urée a permis d'obtenir le meilleur rendement grain, suivi de la fumure organique.

Au terme de cette étude, je suggère :

- La poursuite de l'étude lors de la campagne agricole à venir ;
- L'utilisation de l'engrais (DAP+Urée ou fumure organique) pour l'amélioration de la production du sorgho dans nos conditions de culture. Une bonne utilisation de l'engrais permettra de booster le rendement de cette culture.

6 REFERENCES

- ANONYME 2002 : Memento de L'agronome, édition 2002, Pages 811-822 ; Pages 869-871.
- BRUGGERS et JAEGER, 1982 : Bird pests and crop protection strategies for cereals of the semi-arid african tropics. In *Sorghum in the eighties*. ICRISAT Center, Patancheru, India, pp 303-312.
- CLERGET B, 2004. *Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest*. Thèse de doctorat, Ina-PG, France, 103 p.
- CHANTEREAU J.: *Taxonomie du sorgho-proceeding*. Atelier de formation sur les variétés locales de sorgho. 10-14Octobre 1994 Samanko (Mali) pages 17-27
- CHANTEREAU J. et NICOU R ; (1991). *Technique d'Agriculture Tropicale n° 18, sorgho*, ed : Maisonneuve et Larose, Centre Technique de coopération agricole et Rurale (CTA) : 159 P
- CHANTEREAU J. ; Friot D. ; Roberge G. et Vivien A. (2001). Les sorghos à double usage. In *Towards sustainable sorghum production, utilization, and commercialization in West and Central Africa: proceedings of a Technical Workshop of the West and Central Africa Sorghum Research Network*. Akintayo Inussa (ed.), Sedgo J. (ed.). ROCARS, ICRISAT. Patancheru : ICRISAT, pages 90-100.
- CHANTEREAU J., Cruz J., Ratnadass A. et Trouche G. 2014 : *Le Sorgho* : 239 p
- FAO. 1980 : *Introduction à la lutte intégrée contre les ennemis du sorgho*. Etude FAO-production végétale et protection des plantes 19, Rome, page 8 ;
- FERTIAL (Les fertilisants d'Algérie) 2010 : *Manuel d'utilisation d'engrais*, 96 p.
- GERARD (Groupe d'études de Recherches et d'Appui au Développement) 2012 : *Etude diagnostique des secteurs économiques porteurs et espaces économiques partagés dans la région de Sikasso*. 100 pages
- HARLAN J.R., de Wet J.M.J., 1972. *A simplified classification of cultivated sorghum*. *Crops Science*, 12, 172-176.
- HOUSE L, R. 1987 : *Manuel pour la sélection du sorgho, deuxième édition*. Patancheru, Inde, 229 pages.
- ICRISAT, 2016: *Research program-West and Central Africa-Actions highlighted 2016*, 23 pages.

MANN J., Kimber C. et Mille F., 1983: *The origin and early cultivation of sorghums in africa*. Bulletin (Texas Agricultural Experiment Station), 15454. Texas Agricultural Experiment Station, College Station, 6 pages.

Ministère du Développement Rural (MDR), 2015 : Plan de campagne agricole 2015/2016, Mali www.developpementrural.gouv.ml. 110p.

Nyabyenda P., 1995. *Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude*. Les presses agronomiques de gembloux. Belgique, ISBN 2-87016-072-0. P. 145-168.

ONU : Perspectives de la population mondiale : révision 2012, 7 pages.

OUEDRAOGO M, (2014) : *Etude de la diversité agro-morphologique du sorgho et identification de cultivars tolérants au stress hydrique post-floral*. Mémoire de fin de cycle du CAP de Matourkou au Burkina Faso, 72p.

SAUVANT D. et al, 2004 : *Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage* : 2^{ème} édition. ISBN 2738011586, INRA Editions Versailles, 306p.

SMITH C.W., Frederiksen R.A. (éds.), 2000. *Sorghum: Origin, history, technology, and production*, John Wiley & Sons, New York, États-Unis.

TRAORE M., 2016 : Caractérisation agromorphologique de 105 descendances , 40 pages (BC1F6) de sorgho à haute digestibilité dans la zone soudanienne du Mali, 41p

WELTZIEN E., 2014 : *Le sorgho en Afrique* : opportunités et priorités de recherche. 7page.

YAYÉ Z, 2013 : Effets de la dolomie et de la fertilisation minérale sur le sorgho (*Sorghum bicolor*) en zone soudanienne du Mali, mémoire du cycle ingénieur de l'IPR/IFRA de Katibougou, 39 p.

WIKIPEDIA : [Fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org)

<http://www.fao.org/3/a-bt400e.pdf>

URL:<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/F>.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Phosphate_de_diammonium

fr.Wikipédia.org/wiki/Ur%25C25A9e

fr.Wikipédia.org/wiki/bouse

ANNEXES

Annexe 1: la comparaison des variétés sur la base de 50% épiaison

Variétés	DAP+Urée	Fumure organique	Pas apport engrais	Moyennes
Locale	93	92	91	92
Péké	92	94	91	92
Soubatimi	68	70	73	70
Tiandougou coura	82	81	86	83

Annexe 2 : tableau de comparaison sur la base de la hauteur des plants

Variétés	DAP+Urée	Fumure organique	Pas apport engrais	moyennes
Locale	435	437,5	450	440,8
Péké	270	221,5	227,5	239,6
Soubatimi	280	277,5	236,5	264,6
Tiandougou coura	265	251	248,5	254,8

Annexe 3 : Tableau de comparaison des variétés sur la base du rendement grain en g/m²

Variétés	DAP+Urée	Fumure organique	Pas apport engrais	Moyennes
Locale	258,8	225,2	252,7	245.5
Péké	284,6	237,3	302,5	274.8
Soubatimi	515,6	457,1	319,2	430.6
Tiandougou coura	355,8	353,5	276,7	328.6

Annexe 4 : Tableau de comparaison des variétés sur la base du rendement biomasse en t/ha

Variétés	DAP+Urée	Fumure organique	Pas apport engrais	moyennes
Locale	37,97	30,28	31,77	33,34
Péké	32,15	28,56	38,29	33
Soubatimi	32,95	33,04	34,23	33,40
Tiandougou coura	26,86	34,23	33,61	31,56

Annexe 5 : Photo de la récolte



Annexe 6 : Photo du battage

